

送電線の直流残留電荷の減衰時間と漏洩機構の検討

Residual dc charge decay time and leakage mechanism in a transmission line

村瀬 洋† 依田正之† 澤五郎†

Hiroshi MURASE, Masayuki YODA, Goro SAWA

Abstract Authors once measured the decay time of residual dc charge in a 500kV transmission line during five fine and dry days of winter season. The results showed a large scattering without depending on the simultaneously measured weather conditions, such as the measured time of a day, atmospheric temperature and relative humidity. Then the authors have performed an additional experiment in a laboratory to discuss the factors that affect the residual dc charge leakage focusing on the moisture in the air and the dusts floating in the atmosphere. It is shown that absolute humidity alone decides the decay time without scattering under clean and calm condition. The floating dusts blown up by the wind, however, reduce the decay time and bring a large scattering. The dusts should be a charge carrier moving freely in the atmosphere.

1. まえがき

送電線からの電荷漏洩はコロナロスとして主に送電電力損失やラジオノイズの発生を評価する目的で研究されてきた^{[1][2]}。この研究分野では、降雨時や降雪時について特に精力的に調査されている。これは、晴天時に比べて格段に電力損失が大きいことによる^[2]。一方、晴天乾燥時の電荷漏洩は直流送電線によるイオン流帯電の評価という観点で注目されてきた^{[3][4]}。また、天候とは関係なく、サージの伝播特性という観点からも注目されてきた^[5]。

著者らは、これらとは別の目的で商用周波送電線の直流残留電荷の減衰時間を調査したことがある^[6]。両端を遮断器により切り離された送電線には、商用周波電圧の波高値に相当する直流電荷が残留し、ある時間をもって減衰する。この減衰時間は、遮断器を再投入するときの遮断器投入サージの大きさや^[7]、送電線に接続されたガス絶縁機器の商用周波電圧とは異質の電圧に対する絶縁耐力を評価する上において重要となる。調査は、残留電荷の影響がより大きくなる冬場の乾燥時に実施した。すなわち、減衰時間が最も大きくなると考えられる時期を選んだ。この減

衰時間には大きなばらつきが現れ、同時に測定した気温や相対湿度といった気象条件とは関連付けられていない。

次に、この現地での測定に現れるばらつきが何に起因しているか追及すべく、実験室内で電荷漏洩の機構について調査した^[8]。特に、大気中の水分の影響と、風により舞い上げられる塵・埃の影響に注目した。その結果、風の有無と、塵・埃の量や種類がばらつきの原因となりうることがわかった。風は大気中を移動する塵・埃のような電荷のキャリアの量を左右すると考えられる。

本稿は、これら2調査^{[6][8]}の結果をレビューしたものである。

2. 実送電線を用いた減衰時間の測定

＜測定対象とした送電線＞ 東京電力、安曇幹線 1L の黒相を用いた。安曇幹線は新信濃変電所と新秩父開閉所を結ぶ長さ 105km の 500kV 送電線である。図 1 に安曇幹線の導体配置を示す。本線は公称断面積が 240mm² の鋼心イ号アルミ合金より線 (IACSR ; 直径は 22.4mm) の 4 導体配置で、素導体間隔は 400mm である。また架空地線は公称断面積が 120mm² の IACSR (直径は 17.5mm) 単導体を使用している。

測定のための系統回路構成を図 2 に示す。新信濃変電所の安曇幹線 1L 遮断器を“切”の状態にし、新秩父開閉所

† 愛知工業大学 工学部 電気工学専攻 (豊田市)

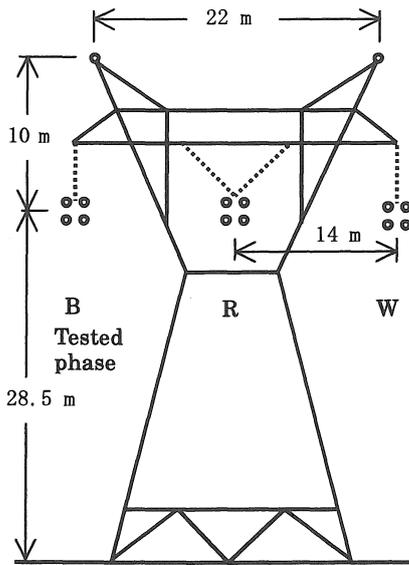


図 1 測定対象とした 500kV 送電線の導体配置

Fig.1 Conductor arrangement of tested transmission line

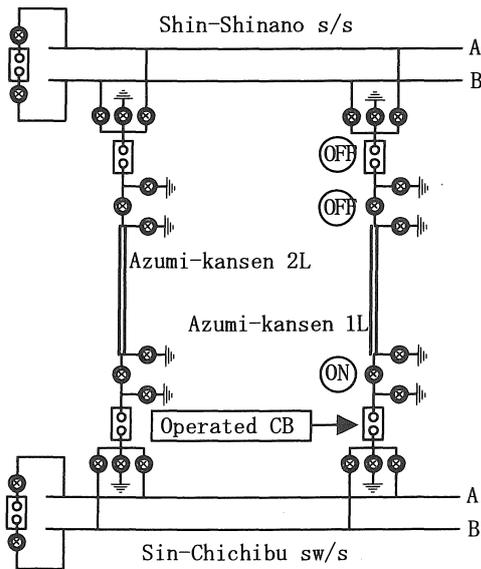


図 2 測定に供した実送電系の回路構成

Fig.2 One-line diagram of tested transmission system

の遮断器を“入”から“切”の状態に操作させることで送電線に残留電荷を発生させる。測定は新秩父開閉所側の遮断器に接続されている GIS スペーサの内部に埋め込まれたシールド電極を利用した^[6]。なお、本測定の実施時期は、1983 年 12 月 5 日から 9 日である。

<測定結果> 全試験の結果を表 1 に示す。ここで V_p は、遮断器によって切り離された直後の送電線の残留電圧を示す。また、減衰時間 τ は残留する電圧が V_p/e (約 37%) となるまでの時間を表す。試験番号の A, B, C, D, E は測定日に対応する。測定時の気温、湿度は新秩父開閉所

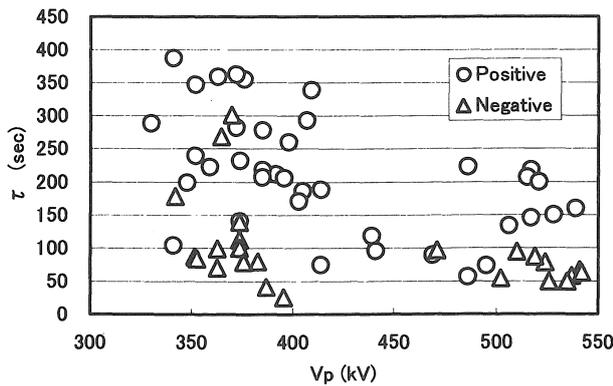
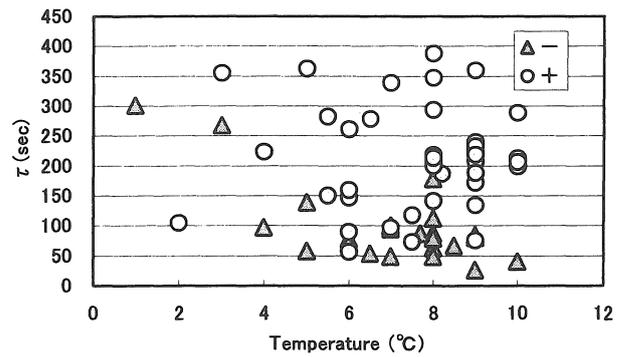
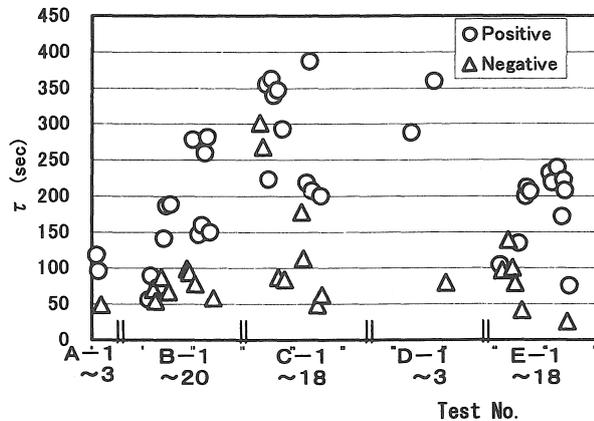
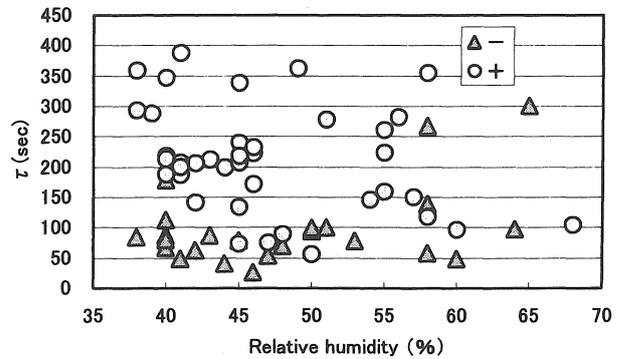
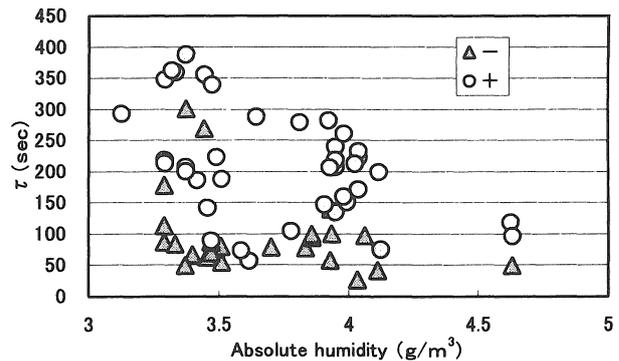
表 1 測定結果

Table 1 Results of measurement

試験番号	時刻 時分秒	気温 (°C)	湿度 (%)	V_p (kV)	減衰時間 τ (sec)
A-1	14:29,45	7.5	58	438	118
A-2	14:42,07	7.0	60	441	96
A-3	14:58,18	7.0	60	-526	49
B-1	9:40,57	6.0	50	486	56
B-2	9:53,44	6.0	48	469	89
B-3	10:07,13	6.0	48	-363	70
B-4	10:20,23	6.5	47	-502	54
B-5	10:32,22	7.5	45	495	73
B-6	10:55,27	7.7	43	-352	87
B-7	11:07,35	8.0	42	374	141
B-8	11:22,56	8.0	41	405	186
B-9	11:37,27	8.5	40	-541	67
B-10	11:48,34	9.0	40	414	188
B-11	13:29,08	7.0	50	-363	99
B-12	13:43,27	7.0	50	-510	94
B-13	14:01,26	6.5	51	385	278
B-14	14:17,24	6.0	53	-524	78
B-15	14:32,31	6.0	54	517	146
B-16	14:56,27	6.0	55	539	159
B-17	15:11,52	6.0	55	398	260
B-18	15:27,41	5.5	56	372	282
B-19	15:43,00	5.5	57	528	150
B-20	16:06,03	5.0	58	-537	58
C-1	8:42,06	1.0	65	-370	301
C-2	8:59,04	3.0	58	-365	268
C-3	9:15,46	3.0	58	377	355
C-4	9:33,22	4.0	55	486	223
C-5	9:48,44	5.0	49	372	362
C-6	10:02,32	7.0	45	409	339
C-7	10:22,38	8.0	40	352	347
C-8	10:37,00	8.0	40	-519	87
C-9	10:51,41	8.0	38	407	293
C-10	11:10,36	9.0	38	-353	84
C-11	12:49,36	8.0	40	-342	178
C-12	13:04,37	8.0	40	-374	113
C-13	13:18,52	8.0	40	517	218
C-14	13:34,04	8.0	41	341	387
C-15	13:51,10	8.0	41	515	207
C-16	14:29,17	8.0	41	-535	49
C-17	14:42,29	8.0	41	521	200
C-18	14:56,03	8.0	42	-542	63
D-1	11:44,23	10.0	39	330	288
D-2	13:56,16	9.0	38	363	359
D-3	15:11,32	9.0	40	-383	80
E-1	8:27,31	2.0	68	341	104
E-2	8:45,04	4.0	64	-471	97
E-3	9:20,34	5.0	58	-374	139
E-4	9:43,52	7.0	51	-374	100
E-5	10:00,39	8.0	45	-376	79
E-6	10:18,32	9.0	45	506	134
E-7	10:42,33	10.0	44	-387	41
E-8	10:58,58	10.0	44	348	199
E-9	11:09,59	10.0	43	392	212
E-10	11:28,43	10.0	42	396	206
E-11	13:21,34	9.0	46	374	232
E-12	13:37,53	9.0	45	385	218
E-13	14:07,19	9.0	45	352	239
E-14	14:36,04	9.0	46	403	171
E-15	14:46,11	9.0	46	359	222
E-16	14:52,40	9.0	45	385	207
E-17	15:09,14	9.0	46	-396	26
E-18	15:19,27	9.0	47	414	75

注 1) 気温、湿度は新秩父開閉所での測定値である。

注 2) すべての測定は晴天の下で実施した。

図3 減衰時間 τ と V_p との相関Fig.3 Correlation of decay time τ with V_p .図5 減衰時間 τ と気温との相関Fig. 5. Correlation of decay time τ with temperature.図4 減衰時間 τ と測定時刻との相関Fig.4. Measurement time dependence of τ .図6 減衰時間 τ と相対湿度との相関Fig. 6. Correlation of decay time τ with relative humidity.図7 減衰時間 τ と絶対湿度との相関Fig. 7. Correlation of decay time τ with absolute humidity.

でのデータである。また、全ての測定は晴天の下で実施した。

<考察> 従来の商用周波に対するエネルギーロスと比較する目的で、本測定結果から、残留電圧 V_p でのエネルギーロスについて考察する。正極性について最大値を求めると、1km 当たり 82 W/km となる。一方負極性では 136 W/km となる。これらの値は、正負それぞれの測定例の最大値であり、しかも商用周波電圧の波高値近傍の瞬時値であるにもかかわらず、従来から認識されている 330mm²-4 導体束 500kV 送電線の晴天時のエネルギーロス 230~330 W/km より小さくなっている。本測定がこの様な電荷損失の少ない状況のもとで実施されたことがわかる。

次に測定値の大きなばらつきについて考察する。図3に、 V_p と τ の相関を示す。 V_p がばらつく理由は、遮断器による小電流遮断のばらつきと3相の遮断順により他相からの静電誘導の影響が異なることによる^[6]。また、図4には測定時刻に対する τ の変化を示す。横軸は、測定を実施しない夜の12時間分を省略した時間軸としている。

図3に示す V_p - τ 相関図では、正極性、負極性ともに多少負の相関が見られるものの、ばらつきに埋もれて顕著な

相関となっていない。気象条件による影響を考察する一手段として示した図4では、3日目(試験番号C)の正極性、負極性と4日目(試験番号D)の正極性が大きな値を示している。ただし4日目については測定数が少ないために、負極性で大きな値が出現した可能性は否定できない。3日

目, 4 日目の特筆すべき気象状態として, 冬型の気圧配置がゆるみ, 広い範囲でおだやかな晴天になったことが挙げられる。

測定結果の新たな評価として, 図 5 から図 7 に各種気象データと減衰時間 τ との関係を示す。減衰時間とは, 残留する電圧が初期値 V_p に対して V_p/e (約 37%) となるまでの時間を表す。図 5 に示す気温との関係や, 図 6 に示す相対湿度との関係では, 大きなばらつきに埋もれて顕著な相関は現れてこない。また, 図 7 に示す絶対湿度との関係では, 両極性共に, 絶対湿度が低いほど減衰時間が大きくなる傾向はうかがえるが, ここでも大きなばらつきに埋もれて相関が顕著に現れてこない様子がわかる。

図 6 に示す相対湿度が大きな範囲をもっている印象を受けるが, これは図 5 に示す気温と連動しているためで, 図 7 のように絶対湿度に直すと, $3\sim 5\text{g}/\text{m}^3$ と, 狭い範囲でのデータといえる。ちなみに, 日本での年間の絶対湿度変化は, $3\sim 20\text{g}/\text{m}^3$ であることが報告されている (愛知県小牧市での値) [9]。また, IEC 高電圧試験規格の絶対湿度適用範囲は, $1\sim 15\text{g}/\text{m}^3$ である [10]。これらのことから, 本データが晴天乾燥時のごく限られた気象条件の下での値であることがわかる。

3. 実験室内での減衰時間の測定実験

<実験装置・実験方法> 図 8 に実験装置の概略を示す。実験室内の実験では, 送電線を模擬した導体として, 両端に半径 30mm の球状シールドを設置した直径 20mm, 長さ 1450mm のアルミ製パイプを用いる。実送電線の模擬のため, 導体表面での電界値がほぼ等しくなるように接地面からの高さを選んだ。実際には, 文献 [2] に与えられている 800kV 送電線の素導体表面上の最大電界に対し, 約 80% の電界強度としている。この模擬送電線の一端はエポキシ製の絶縁物, 他端は碍子で支持している。この碍子は静電電圧計の高電圧電極の支持もかねる。実送電線では, エポキシ製の絶縁物で導体が支持されることはない。本研究でエ

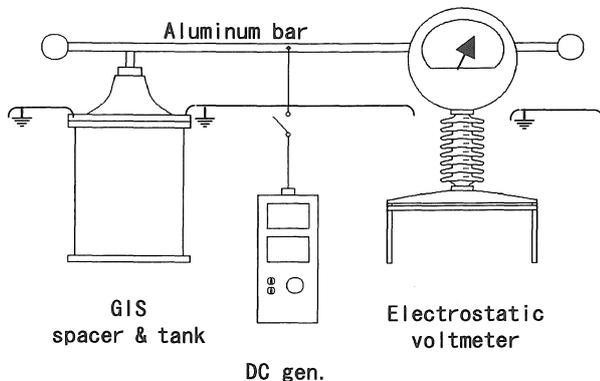


図 8 実験室内での減衰時間測定実験の概略構成

Fig.89. Schema of experimental arrangement of indoor decay time measurement.

ポキシ製の絶縁物を用いるのは特に意味があるわけではなく, 実験設備の都合上による。

減衰時間 τ は, 模擬送電線に 50kV を与えた後, 電源から切り離れたときの残留電圧が $50/e$ (18.4)kV となるまでの時間の測定値で与える。残留電圧は静電電圧計で測定する。

実送電線を完璧に模擬することは困難で, あまり意味のあることではないと考える。従ってここでは, 減衰時間の絶対値に関しては議論せず, 相対的な傾向に注目する。

<水分の影響> 図 9 に相対湿度と τ の相関を示す。実験室内は無風状態とし, 塵・埃がないように十分清掃してから測定を実施している。データはすべて負極性である。気温が異なる測定日のデータを用いていることから, 測定点が群をなし, その群が相関性なく分布しているようすがよくわかる。このデータを絶対湿度との相関として表記しなおすと図 10 となる。群がなくなり, 一本の曲線上にデ

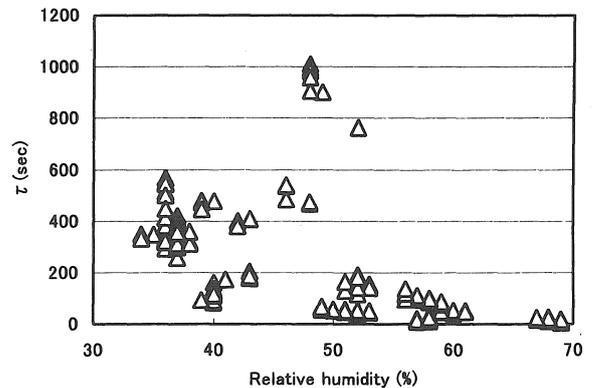


図 9 減衰時間 τ と相対湿度との相関

Fig.9 Correlation of decay time τ with relative humidity.

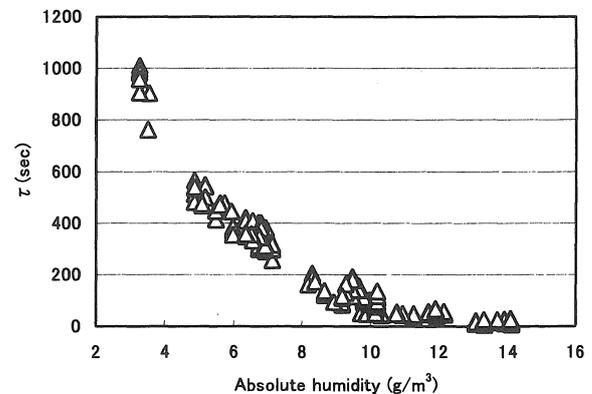
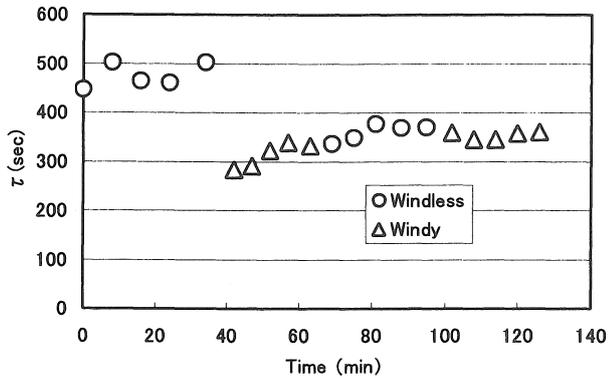


図 10 減衰時間 τ と絶対湿度との相関

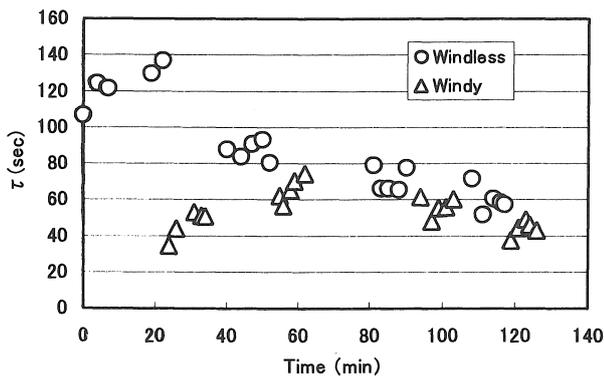
Fig.101. Correlation of decay time τ with absolute humidity.

ータが集積している。このことから、無風の清浄な状態では、絶対湿度のみが電荷漏洩を決定していることがわかる。

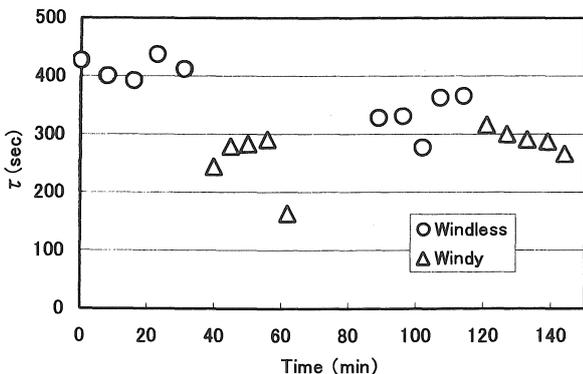
図 10 の絶対湿度の最小値は 3.2 g/m^3 であり、実送電線を用いた減衰時間測定時の分布の下限値 (3.1 g/m^3) と一致する。特別な空調設備を持たない実験室内での無風状態を保った測定では、一年を通してこの程度の絶対湿度が限



(a) Negative polarity, absolute humidity : $4.3 - 4.7 \text{ g/m}^3$



(b) Negative polarity, absolute humidity : $8.1 - 8.5 \text{ g/m}^3$



(c) Positive polarity, absolute humidity : $5.4 - 5.9 \text{ g/m}^3$

図 11 風の無・有を繰り返したときの減衰時間 τ の変化

Fig. 11. Change of decay time τ when repeating windless and windy conditions.

度であった。これは文献[9]に記載の値とも一致する。

超高压 (EHV) 商用周波送電線の好天時の電力損失は、主に碍子表面の漏洩電流に起因することが指摘されている[2]。本実験でも、電荷漏洩が模擬送電線を支持するエポキシ絶縁物と碍子の表面漏洩電流に起因することは容易に想像できる。この模擬送電線を支持するエポキシ絶縁物と碍子の表面漏洩に、絶対湿度が深くかかわっているといえる。しかし、直流では、塵・埃の存在によって、これ以外の電荷漏洩機構も重要となってくるというのが著者らの主張である。この点について、以下で検証する。

<塵・埃の影響> 図 11(a), (b), (c) に風がない場合と、扇風機を床面に向けて風を送り、塵・埃を舞い上がらせた場合を交互に繰り返した一連の測定結果を示す。横軸は測定を開始した時刻を表す。風の有無の条件は 5 回の測定のたびに入れ替えている。絶対湿度は、図 11(a), (b) の負極性ではそれぞれ $4.3 \sim 4.7 \text{ g/m}^3$, $8.1 \sim 8.5 \text{ g/m}^3$, 図 11(c) の正極性では $5.4 \sim 5.9 \text{ g/m}^3$ である。これらは、各測定を開始した時刻の値である。本実験は、前述の<水分の影響>の実験とは異なり、ある程度の塵・埃を必要とする。従って、実験室内の事前の清掃はしていない。

本実験では、扇風機により塵・埃が舞い上がるものとして議論を進める。電荷の漏洩が扇風機による実験室内の気流の有無のみに影響を受けるとは考えにくいことによる。これらの塵・埃は我々の目で見る事が出来ないほど小さいはずである。というのは、扇風機により風を送った場合に、塵・埃が舞い上がる様子が目視で確認できないことによる。

再び、図 11(a), (b), (c) に戻ると、正負とも変化の様子はよく似ていることがわかる。すなわち、最初の 5 データは風を送らず静かな状態からの測定であり、大きな τ が測定されている。この電荷漏洩は、<水分の影響>で述べた、模擬送電線を支持するエポキシ絶縁物と碍子の表面漏洩電流と考えられる。その後、風を送り床面の塵・埃を舞い上がらせると、 τ は極端に小さくなっている。一度舞い上がった塵・埃は長時間空間を漂うせいか、もしくはエポキシ絶縁物や碍子の表面に付着し汚損するせいか、風のない場合の τ も 2 回目以降は小さくなっている。このように、風によって舞い上げられた塵・埃により、 τ が小さくなる様子が観測された。この電荷漏洩機構について、次章以降で考察する。

4. 空中ギャップに流れる暗流の測定実験

<実験装置・実験方法> 本実験は、エポキシ絶縁物や碍子などの固体絶縁物表面を介さない、大気中への電荷漏洩が、風の有無によりどのように影響を受けるかを調査するものである。実験装置の概略を図 12 に示す。模擬送電線の一端近傍にコンデンサを介して接地した直径 280mm の円盤電極を設置し、120mm のギャップを構成する。この状態で模擬送電線に 30kV なる一定電圧を印加し、コンデン

サの端子電圧の時間変化をエレクトロメータで測定する。エレクトロメータの入力インピーダンスは $10^{13} \Omega$ 以上 (カタログ値), コンデンサの容量は $0.52 \mu\text{F}$ であるから, 測定の時定数は $CR=5.2 \times 10^6$ 秒 (1444 時間) となる。従って, これより十分短い時間領域では, コンデンサに蓄積される電荷量が測定できることになる。実際には, コンデンサや同軸ケーブル端部の表面漏れ抵抗により, これより小さい時定数となる。事前の調査により, 少なくとも 1 時間程度までは問題なく測定できることを確かめている。実験室内の状況や風を与える方法は, 前述の図 11 に示す実験と同一となるよう配慮した。

<コンデンサ端子電圧の推移> コンデンサの端子電圧が, 風の有無の条件を入れ替えることでどのように変化するか調査した。結果を図 13 に示す。測定開始から 730 秒までは無風を保ち, 730 秒から 960 秒までの 230 秒間風を送り, その後再び無風を保った。実験開始時の絶対湿度は 6.0 g/m^3 である。この曲線の傾きにコンデンサの容量を掛けた値がギャップ間を流れる暗流の大きさとなる。

図を見ると, 初期の無風時には曲線の傾きは小さいが, 風を送った時点 (730 秒) から急に傾きが大きくなっている。その後, 再び無風 (960 秒) にしても暫くの間 (1030 秒まで) 傾きは変わらず, その後風が有る場合より大きな傾きを示すようになっていく。さらに 1800 秒頃から傾きは減少傾向に移行している。

上記の状況を, ギャップに流れる暗流値として記述すると次のようになる。初期の無風状態は 0.25 nA , 有風状態は 0.90 nA , 再び無風状態にしても暫くこの値が続き, さらに 1.11 nA に増大している。この 1.11 nA なる暗流は, 770 秒程度持続し, その後減少傾向を示している。

このように, 初期の無風状態から有風状態に移行すると急激に暗流が増大し, その後有風状態から無風状態に移行しても, 暗流はすぐには初期の無風状態の値に回復しないことがわかる。この実験結果は, 図 11 に示した, 最初の

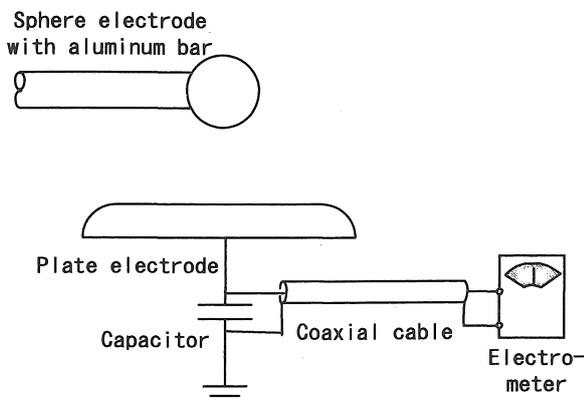


図 12 空中ギャップの暗流測定実験の概略構成
Fig. 12. Schema of experimental arrangement of dark current measurement in air gap.

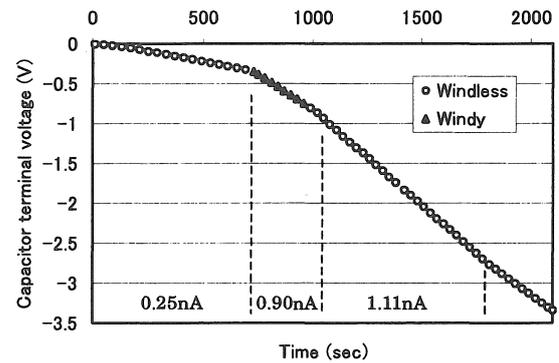


図 13 風を無→有→無と変化させたときのコンデンサ端子電圧の変化, 負極性, 絶対湿度: 6.0 g/m^3
Fig. 13. Capacitor terminal voltage change when the wind conditions change from windless to windy, and finally to windless, negative polarity, absolute humidity: 6.0 g/m^3 .

有風状態で τ が大きく減少し, 2 回目以降の無風状態の τ が初期値に回復しない状況とよく対応している。

<塵・埃および水分の影響> 風の有無によるコンデンサ端子電圧推移の相違を様々な絶対湿度の下で調査した。代表的な結果を図 14(a), (b), (c), (d) に示す。絶対湿度は, 図 14(a), (b), (c) の負極性ではそれぞれ $6.7 \sim 7.0 \text{ g/m}^3$, $8.1 \sim 8.4 \text{ g/m}^3$, $9.4 \sim 9.6 \text{ g/m}^3$, 図 14(d) の正極性では $6.5 \sim 6.7 \text{ g/m}^3$ である。まず無風状態のデータを 2 種類取得し, その後有風状態のデータを 2 種類取得して一連の実験を終える。それぞれのデータ取得間には 600 秒 (10 分) の休止期間を与えている。

どの例においても, 無風状態に比べて有風状態の傾きが大きくなっている。これをギャップに流れる暗流値として評価すると次のようになる。図 14(a) の負極性の無風状態では, 600 秒間の平均の, さらに 2 本の曲線の平均は 0.31 nA であるのに対し, 有風状態では 0.92 nA となる。(b) の例では 0.60 nA に対し 3.57 nA , (c) の例では 1.10 nA に対し 15.4 nA となる。図 14(d) の正極性の例では, 0.090 nA に対し 0.48 nA となる。このように, 無風状態に比べて有風状態では, 3 ~ 14 倍の暗流が流れている。

一方, 図 14(a), (b), (c) を比較すると, 絶対湿度が高くなる程, 暗流値が大きくなることが予想できる。また, 絶対湿度の増加に伴い有風状態と無風状態の暗流値の比も増加している様子が見える。

図 14(a) の例では, #4 の曲線が特徴的で, 最初緩やかだった傾きが, 390 秒から急激に増大している。初期の平均暗流が 0.57 nA であるのに対し, 390 秒以降では 1.81 nA と 3 倍以上になっている。また, 図 14(d) の例では, 有風状態の 2 曲線の傾きに大きな差が現れている。暗流値で表すと, 0.67 nA と 0.29 nA というように 2 倍以上の相違となっている。このように, 有風状態では大きなばらつきが現

れる傾向もうかがえる。

以上のように、空中ギャップに流れる暗流は風により舞い上げられる塵・埃と密接な関係にあり、その値は絶対湿度の影響を受け、大きなばらつきが現れる傾向にあることがわかった。

5. 考察

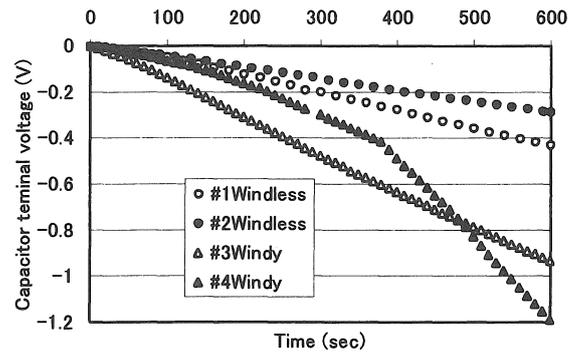
実験室内の実験結果から、塵・埃は空中ギャップに流れる暗流を増大させることはわかった。しかし、この暗流が模擬送電線の残留電荷減衰時間にどの程度影響を及ぼすかわかっていない。模擬送電線を支持するエポキシ絶縁物や碍子の表面漏洩電流との定量的な比較が必要となる。ここでは、実験室内の実験結果から、両者の定量的な比較検討を試みる。

両者を定量的に比較するうえで、絶対湿度を同一に保つことは必須である。暗流による大気中への電荷漏洩と絶対湿度との定量的な相関は得ていないことによる。そこで、絶対湿度が偶然一致した図 11 (b) と図 14 (b) を比較する。

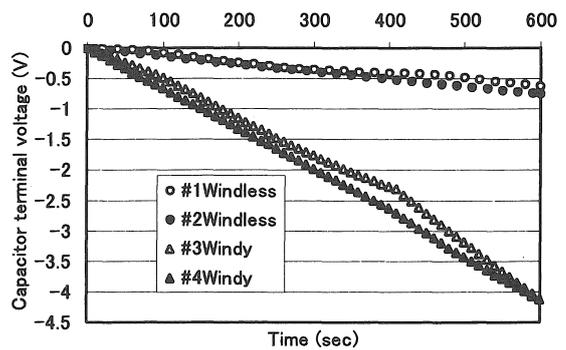
まず図 11 (b) に示す最初の無風状態 5 データの 30kV における漏洩電流を計算する。30kV とするのは、図 14 (b) が 30kV 印加時のデータであることによる。電荷の減衰は単純な指数関数とならないことがわかっているが^[6]、ここでは単純な指数関数で減衰すると仮定して議論を進める。また、模擬送電線の対大地静電容量は、実測値 89pF であることがわかっている。この 5 データの平均減衰時間は 124 秒となり、30kV における漏洩電流は 21.5nA と計算される。この値が、概略、模擬送電線を支持するエポキシ絶縁物と碍子の表面漏洩電流と考えられる。一方、最初に風を与えた 5 データの平均減衰時間は 46.6 秒となり、30kV における漏洩電流は 57.3nA と計算される。この電流の増加分 35.8nA は風により舞い上げられた塵・埃による付加的な漏洩電流と考えることができる。以下で、この付加的な漏洩電流に占める模擬送電線全体から大気中へ漏洩する電流の割合を検討する。

図 14 (b) の空中ギャップの平均暗流は、風の有無の相違として 2.97nA が与えられる。この値が模擬送電線全体から大気中へ漏洩する電流とどのように比較できるか定説は見当たらない。ここでは静電容量の比として評価する。空中ギャップの静電容量は、30kV 印加直後にコンデンサに現れる誘導電圧から 3.7pF と計算される。一方、前述の模擬送電線全体の实測静電容量からガス絶縁装置および碍子の実測静電容量の和 51pF を差し引いた値 38pF が、模擬送電線の大気を介した大地に対する静電容量となる。従って、暗流測定値の $38/3.7 = 10.3$ 倍の電流が模擬送電線から大気を介して大地に流れる計算となる。暗流測定値は 2.97nA であるので模擬送電線全体から大気中へ漏洩する電流は 30.5nA となる。この値は先に計算した付加的な漏洩電流、35.8nA と良い一致を見る。

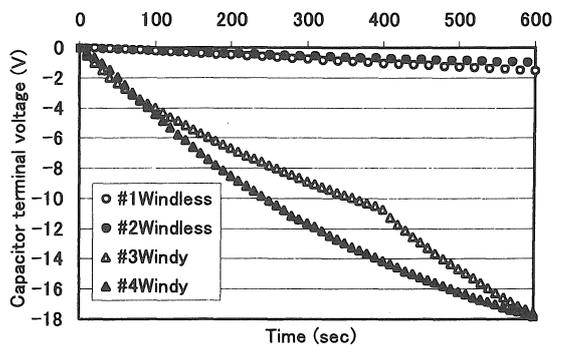
以上の結果は、塵・埃が模擬送電線を支持するエポキシ



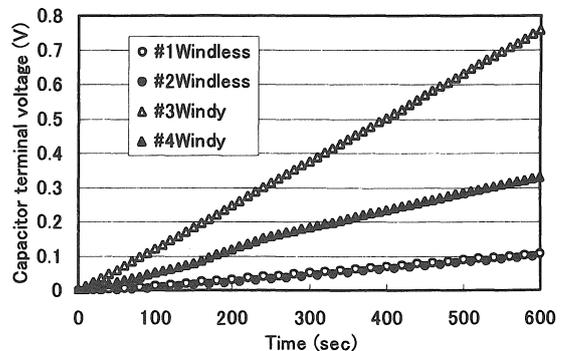
(a) Negative polarity, absolute humidity : 6.7 – 7.0 g/m³



(b) Negative polarity, absolute humidity : 8.1 – 8.4 g/m³



(c) Negative polarity, absolute humidity : 9.4 – 9.6 g/m³



(d) Positive polarity, absolute humidity : 6.5 – 6.7 g/m³

図 14 風の有無によるコンデンサ端子電圧変化の相違
Fig. 14. Difference of capacitor terminal voltage change between windless and windy conditions.

絶縁物と碍子の表面に付着して電荷漏洩を増大するのではなく、大気中への電荷漏洩を増大することを示している。この機構については、塵・埃が自由に移動できる電荷のキャリアとなる効果と、高電圧導体に付着してコロナ放電を誘発する効果が考えられる。しかし、後者が優勢とした場合、たとえば図 13 に示す有風状態の暗流が徐々に増大していく傾向にないことをうまく説明できない。結局、塵・埃はそれ自身が電荷のキャリアとなることで電荷漏洩を増大するとの結論に達する。

実験室内の実験結果を総合すると次の結論を得る。無風清浄状態の電荷漏洩は絶対湿度のみにより決定され、ばらつきは現れない。これは模擬送電線を支持するエポキシ絶縁物と碍子の表面の電荷漏洩と考えられる。一方、有風状態では、同程度もしくはそれ以上の電荷漏洩が付加され、大きなばらつきをもたらす。付加される電荷漏洩は、風により舞い上げられる塵・埃が大気中を移動する電荷のキャリアとなることで発生する。この塵・埃の作用には絶対湿度も大きく関与する。

このように、風の有無と大気中に舞い上げられる塵・埃の量や種類がばらつきの原因となりうることがわかった。しかし、これが実際の送電線に現れるばらつきの原因と結論付けるには無理がある。気象状態を観測したのが 105km にもおよぶ送電線の端の一地点であり、送電線布設のすべての点で同じような絶対湿度となっているとは限らない。これもばらつきの原因と考えられる。

6. むすび

営業運転中の 500kV 送電線を用いた直流残留電荷の減衰時間を測定した。その結果を、残留電荷の電圧値、測定時刻、気温、相対湿度、絶対湿度との相関として整理した。その結果、残留電荷の電圧値、気温、相対湿度との相関はほとんど見られず、絶対湿度については多少の相関が見られるものの、大きなばらつきに埋もれて相関が顕著に現れてこないことがわかった。

この結果を受けて、大きなばらつきの原因を追求すべく、実験室内にて電荷漏洩を引き起こす様々な要因について検討した。その結果、次の結論を得た。

(1) 無風清浄状態の電荷漏洩は絶対湿度のみにより決定され、ばらつきは現れない。

(2) 有風状態では、同程度もしくはそれ以上の電荷漏洩が付加され、大きなばらつきをもたらす。

(3) 付加される電荷漏洩は、風により舞い上げられる塵・埃が大気中を移動する電荷のキャリアとなることで発生する。

(4) 塵・埃の作用には絶対湿度も大きく関与する。

これらの結論が実送電線での現象の解釈に適用できるものと予想されるが、更に今後も検討して行きたい

文 献

-
- [1] T.N.Giao and J.B.Jordan, "Modes of Corona Discharges in Air," IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-87, No.5, pp.1207-1212 (1968)
 - [2] Transmission Line Reference Book 345kV and Above, Chapter 7, "Corona Loss"
 - [3] UHV 送電特別委員会: 「UHV 直流送電に関する研究」, 電中研委員会報告, Z85802 (昭 60)
 - [4] 天野: 「直流送電線におけるイオン流帯電電圧の予測実験式」, 電気学会論文誌 B, Vol.112-B, No. 1, pp. 49-56 (1992)
 - [5] 野田, 能勢, 長岡, 雨谷: 「線路サージ計算に用いる波頭長依存コロナモデル」, 電気学会論文誌 B, Vol.117-B, No. 6, pp. 768-775 (1997)
 - [6] 小林, 村瀬, 西脇, 小坂田: 「500kV 送電線の電荷減衰時定数」, 電気学会論文誌 B, Vol.122-B, No. 5, pp. 675-683 (2002)
 - [7] 劉, 塩田, 中澤, 山田, 江川: 「UHV 設計 500kV 送電線における開閉サージ測定波形と EMTF 計算波形との比較検討」平成 12 年電気学会 B 部門大会, No. 380
 - [8] 村瀬, 依田, 澤, 金子: 「晴天乾燥時における送電線の直流残留電荷漏洩機構の検討」, 電気学会論文誌 B, Vol.125-B, No.10, pp.1000-1006 (2005)
 - [9] 日高, 田中, 水野, 石井, 立松, 内藤, 藤井, 荒川: 「碍子フラッシュオーバ電圧に及ぼす絶対湿度の影響 (第 2 報)」平成 16 年度電気関係学会東海支部連合大会, O-113
 - [10] International Electrotechnical Commission: IEC Pub. 60060-1, 1989-11

(受理 平成 18 年 3 月 18 日)